VII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES
Olinda/Recife – setembro 1982

COMPORTAMENTO DE ARGILAS PRÉ-ADENSADAS DO TERCIÁRIO EM TALUDES DE CORTE DA RODOVIA DOS TRABALHADORES, EM SÃO PAULO

RUI TAIJI MORI
• Chefe do Deptº de Engenharia de Solos e Fundações, HIDROSERVICE – Engenharia de Projetos Ltda.
ROBERTO RODRIGUES
• Geólogo – DERSA
PERSIO J. PORTO PIMENTEL
• Engenheiro – DERSA

RESUMO

Por ocasião dos estudos de projeto para implantação da Rodovia dos Trabalhadores, verificou-se que a argila pré-adensada da bacia sedimentar de Taubaté apresentava problemas de instabilidade superficial em todos os cortes existentes na região, tanto nos taludes da Rodovia Presidente Dutra como nos taludes da Ferrovia Central do Brasil, da RFFSA.

Os estudos geotécnicos iniciais não permitiram definir uma solução econômica e simples para este problema, e o caminho adotado foi o de se chegar a uma solução econômica e otimizada através de tentativas de rigor e sofisticação executiva crescentes. A solução final que se preconiza neste trabalho é a de se proteger o talude recém-escavado com uma imprimação de emulsão asfáltica de ruptura lenta, para protegê-lo de ressecamento superficial, seguido de um confinamento total com reaterro compactado com solos residuais silto-arenosos ou silto-argilosos.

INTRODUÇÃO

A Rodovia dos Trabalhadores é uma rodovia de classe especial, com acessos controlados que liga São Paulo a Taubaté, numa extensão total de 118km. A primeira fase desta via, inaugurada em 1 de maio de 1982, compreende o trecho entre São Paulo e Guararema, com término na Rodovia Pres.Dutra numa extensão de 55km. A meta principal da nova rodovia é a de abrir um novo corredor na zona de maior concentração industrial do país que é o Vale do Rio Paraíba no eixo São Paulo-Rio de Janeiro, paralelo à Rodovia Pres.Dutra que por volta de 1986 estará saturada conforme estudos feitos pelo DNER. O traçado foi escolhido com a premissa de procurar-se os terrenos menos valorizados, problema que dificulta ampliações futuras da Via Dutra. Assim o eixo da nova rodovia segue o Vale do Rio Tietê até Itaquaquecetuba, a partir de onde passa a cortar os suaves morros pré-cambrianos e depósitos sedimentares da Formação Taubaté.

O presente trabalho se concentra nos problemas ocorridos com os cortes abertos na argila pré-adensada, dura, cinza-esverdeada do Terciário. Estes problemas consistem em escorregamentos superficiais ao longo da superfície dos taludes devido a degradação da argila com o intemperismo. Um grande corte de 32m de altura, escavado junto ao trevo com a Rodovia Mogi-Dutra, constituído

principalmente desta argila com pequenas lentes de areia intercaladas, foi objeto de estudos e tratamentos experimentais de estabilização de talude.

Os demais taludes da rodovia incluindo os em argilas arenosas do Terciário foram abertos em inclinação convencional de 1:1, com bermas de 4,0m de largura a cada 8,0m de altura. Somente alguns cortes foram abrandados para um talude de 1(V): 1,5(H) ou 1(V): 2,0(H) devido a pormenores e condições localmente desfavoráveis.

Pesquisas na bibliografia nacional sobre o assunto mostraram que existem poucos trabalhos que enfocam este problema de desagregação e degradação superficial de taludes e todos os materiais estudados diferem da argila dura,pré-adensada do Terciário. Santos (1976) descreve problemas ocorridos com argilitos e siltitos da Formação Estrada Nova; Frazão et al (1976) citam problemas ocorridos com folhelhos,siltitos e arenitos argilosos na Ferrovia entre Engº Bley (PR) e Mafra (SC); Pastore e Mioto mostram problemas e tratamentos feitos em rochas da Formação Bauru e Ferreira et al (1982) relatam uma solução utilizando redes metálicas e geotexteis para contenção da desagregação superficial a seco nos siltitos e folhelhos nos taludes da E.F.Central do Paraná, entre Ponta Grossa e Apucarana.

PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DAS ARGILAS PRÉ-ADENSADAS

a) No estado natural, intacto.

A argila pré-adensada, cinza-esverdeada, no seu estado natural, intacto, apresenta uma resistência elevada, que pode ser constatada na Fig. 1 através dos altos valores de resistência à penetração SPT e na Fig. 3 em ensaios de compressão triaxial não drenado e em ensaios de cisalhamento direto. Valores de SPT acima de 20 constituem a regra geral destes solos em termos de resistência à penetração. Ensaios de compressão triaxial não drenados apresentam problemas de confiabilidade nestes solos parcialmente saturados e ensaios drenados seriam extremamente demorados devido a sua baixa permeabilidade no estado intacto. Porém, de qualquer forma os ensaios apresentados na Fig.3 indicam que:

- as pressões neutras são baixas
- a resistência à compressão simples é tão alta quanto cerca de 9,5kg/cm^2 e portanto maior do que o indicado pelo intercepto de coesão.
- a resistência ao cisalhamento em termos de pressão efetiva apresenta um valor de pico muito elevado, e mesmo no estado residual o ângulo de atrito interno efetivo é de cerca de 23^o.
- as curvas tensão-deformação indicam claramente um comportamento de argila pré-adensada.

Estes ensaios foram realizados em corpos de prova com o teor de umidade natural, procurando-se manter as condições locais originais de umidade e densidade.

O problema da resistência das argilas duras cair, para grandes deformações, foi ponderado. Isto somente aconteceria nos cortes se o alívio de tensões provocado lateralmente introduzisse deformações que levassem as tensões de cisalhamento a valores residuais, o que ensaios realizados indicam não ocorrer, não se ultrapassando 1% de deformação específica.

b) No estado degradado.

Quando um talude de corte é aberto neste solo, ocorre além do

alívio de tensões devido ao desconfinamento uma exposição do mesmo ao intemperismo decorrente da variação de temperatura e de aeração. Este último fator, principalmente, provoca um intenso trincamento e fissuramento superficial do talude, criando o chamado "escamamento"ou "empastilhamento" na superfície exposta. As Fotos 1 e 2 mostram a desagregação superficial. O fenômeno se inicia com o aparecimento de trincas espaçadas, que vão se intensificando e provocando a formação de blocos cada vez menores e mais finos. Qualquer chuva ou chuvisco provoca a total degradação superficial, formando uma zona totalmente amolecida e impermeabilizante. A Fig.2 apresenta o perfil típico da zona degradada.

Uma característica interessante, e importante, é que a espessura total da zona deteriorada superficialmente no talude não é maior que 0,40m. A zona totalmente afofada e amolecida, com resistência de "pasta" argilosa é de aproximadamente 0,10 a 0,20m. O restante da zona degradada apresenta uma resistência de pequenos "blocos" de argila intacta lubrificados por uma película de água de chuvas ou ainda de lençois suspensos nas lentes de areia. Não existe determinação da resistência nesta zona degradada, ou seja, não se sabe quão baixa é a resistência desta zona deteriorada, visto que os estudos de projeto foram encaminhados no sentido de se encontrar uma solução que não permitisse a formação da zona deteriorada, que se sabia não ser estável num talude convencional de até 1(V): 2,5(H).

Com as escavações em andamento para uma conformação convencional do talude de 1:1 começaram a ocorrer os primeiros escorregamentos superficiais nos cortes do trevo com a Rodovia Mogi-Via Dutra. Após alguns meses de exposição ao ressecamento superficial e consequente esfarelamento da argila, com as primeiras precipitações da estação chuvosa de 1981 apareceram indícios generalizados de instabilidade rasa pelo contato da zona degradada com o maciço pouco fissurado e quase intacto.

Estudos complementares foram realizados com o objetivo de se verificar a composição mineralógica desta argila e a sua expansibilidade no estado degradado. Seis corpos de prova foram submetidos a ensaios de carregamento oedométrico de 0,25; 0,50 e 0,75kg/cm^2 e inundados após a estabilização dos recalques. Três corpos de prova foram talhados da amostra indeformada natural, sem alteração de umidade, enquanto que os outros três ficaram expostos ao ar durante sete dias, antes de serem submetidos ao mesmo tipo de ensaio. Os resultados mostraram que enquanto as três amostras indeformadas apresentaram expansão específica de 0,004% a 0,008%, as três amostras degradadas previamente tiveram valores de 7,09%, 5,31% e 3,5%. Ensaios de expansão livre uniaxial foram realizados também após secagem em estufa a 60^{0}C e posterior inundação sem carregamento axial. Enquanto a amostra intacta apresentou expansão axial de 0,19 a 0,38%, a amostra degradada sofreu expansão axial de 38,4%. A pressão de expansão da amostra intacta foi de 0,09 a 0,17kg/cm^2 e da amostra degradada de 2,52kg/cm^2. A análise mineralógica da fração argila, executada por difratometria de raios X indicou 43% de argilo-mineral caulinítico, 12% do grupo da ilita, 20% do grupo das cloritas e 25% do grupo das esmectitas (expansivas).

Combinado a estas características totalmente desfavoráveis de expansibilidade e de deterioração, as argilas duras, cinza-esverdeadas também apresentam condições bastante indesejáveis ao plantio e crescimento de vegetação: pH de 4,7 a 4,9 (altamente ácido) e teores baixos de fósforo (PO_4^{---}), potássio (K^+) e cálcio + magnésio (Ca^{++} + Mg^{++}).

A análise do comportamento dos primeiros taludes indicou que a solução a ser perseguida devia ser o de confinamento da argila, evitando a continuidade do processo de deterioração da mesma e a gramação do talude externo do solo de confinamento. A drenagem das

águas infiltradas ou de lençol confinado não deve ser impedida.

OPÇÕES TENTATIVAS ESTUDADAS E SOLUÇÃO PRECONIZADA

Várias tentativas foram feitas isoladamente ou paralelamente com outras. Descrevem-se algumas opções estudadas:

a) hidrossemeadura: testada mas totalmente ineficaz.

b) grama em placas: apesar de aparentemente funcionar, o mais provável é deslizar juntamente com a zona degradada em época de chuvas intensas. Isto efetivamente ocorreu em taludes testados pela RFFSA.

c) forração com 0,50 à 1,0m de solo vegetal. Esta camada, indicada na Figura 4 foi a solução inicial de confinamento e, tem o objetivo de permitir o desenvolvimento da grama e garantir cobertura para a zona degradada. Porém ela deve ser selada ou parcialmente compactada, o que é extremamente difícil em cortes já executados, e deve ser feito com talude de 1,5(H): 1,0(V). A experiência não teve sucesso pela impossibilidade de compactação mecânica do solo vegetal e devido a falta de drenagem interna.

d) abatimento do talude. Em alguns casos onde o talude é muito alto ou cujas características são especiais foram abatidos para 1,5(H): 1,0(V). Obviamente grandes abrandamentos do talude podem estabilizar, mas são onerosos, pois além dos volumes removidos existe a desapropriação da área.

e) utilização de sacos de areia e solo vegetal. Esta solução indicada na Figura 5 parece solucionar o problema visto que: é drenante, dá o confinamento necessário, evita o "esfarelamento" contínuo dos torrões de argila e é flexível, moldando-se a pequenas acomodações do talude. Apesar de todas estas vantagens é uma solução trabalhosa e artesanal, e experiências feitas com e sem os sacos de areia subjacentes mostraram que somente com uma camada drenante inferior representada pelos sacos de areia tornaria estável esta solução. A Foto 3 mostra a experiência feita, vendo-se à direita o trecho sem drenagem e rompido.

f) proteção provisória com imprimação e confinamento com reatêrro compactado mecanicamente. A solução preconizada para resolver em definitivo o problema de taludes importantes em argilas duras do Terciário, está indicada na Figura 6. Apesar do custo elevado, ainda é mais barato do que fazer muros de contenção e eliminam a manutenção futura. Obviamente é uma solução que se aplica a rodovias de primeira classe ou classe especial e em taludes de grande altura. Taludes em rodovias de menor importância podem ser deixadas sem tratamento, prevendo-se apenas uma plataforma adicional de espera do material caído.

A primeira etapa desta solução é fazer uma imprimação com emulsão asfáltica de ruptura lenta tipo LAE, imediatamente após a escavação manual de cerca de 0,50m de espessura, de forma a evitar a degradação da superfície acabada. Recomenda-se não fazer bermas que são pontos de maior área específica exposta. O talude em questão encontra-se imprimado conforme se apresenta na Foto 4. A primeira imprimação teve 40% de emulsão asfáltica, 20% de cimento e 40% de água, e a segunda teve, respectivamente, 40%, 40% e 20%.

A etapa seguinte, para uma solução definitiva é reaterrar com solos residuais prevendo-se um dreno interno de areia, após a escarificação pouco antes da imprimação. Esta solução foi adotada com sucesso em alguns taludes instáveis de corte em solos residuais de gnaisse, micáceos, saturados e principalmente num corte de cerca de

15m de altura na argila do Terciário e é de fácil execução com equipamentos convencionais de terraplenagem. A Figura 6 b) indica o procedimento executivo desta etapa. Os serviços finais consistem em execução do sistema de drenagem superficial nas bermas e a forração do talude com grama.

CONCLUSÕES

Frisam-se três pontos a partir dos estudos realizados para a solução dos problemas enfrentados na Rodovia dos Trabalhadores com a argila dura, pré-adensada:

- toda a garantia de estabilidade dos taludes nesta argila do Terciário reside na proteção superficial do mesmo.
- as tentativas e opções alternativas a serem feitas e experimentadas devem visar a solução mais econômica para a obra. Sempre que não existam evidências de um comportamento totalmente conhecido ou previsível, as tentativas devem se iniciar pelas mais simples e exequíveis com os recursos disponíveis e que atendam o cronograma de execução da obra.
- deve-se ter extremos cuidados na extrapolação de soluções. A adoção da solução preconizada para uma auto-estrada como a Rodovia dos Trabalhadores pode não ser válida para obras de menor parte.

BIBLIOGRAFIA

FERREIRA, R.R., ROMAN Fº, C.A., AGUIAR, P.R. e GALTER, O.A. (1982): "Desagregação Superficial de Rochas: Solução de Contenção". Anais do VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações.

FRAZÃO, E.B., MIOTO,J.A. e SANTOS, A.R. (1976): "O Fenômeno de Desagregação Superficial em Rochas Argilosas. Sua Implicação na Estabilidade de Taludes Viários". Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Vol.1 - Rio de Janeiro, RJ.

PASTORE, E.L. e MIOTO, J.A. (1981): "Fenômenos de Desagregação Superficial em Rochas da Formação Bauru, no Estado de São Paulo". Anais do 3º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Vol. 3, Itapema, SC.

SANTOS, A.R.(1974): "Desagregação Superficial em Taludes de Corte nos Argilitos e Siltitos da Formação Estrada Nova". Anais do V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Vol.1, São Paulo, SP.

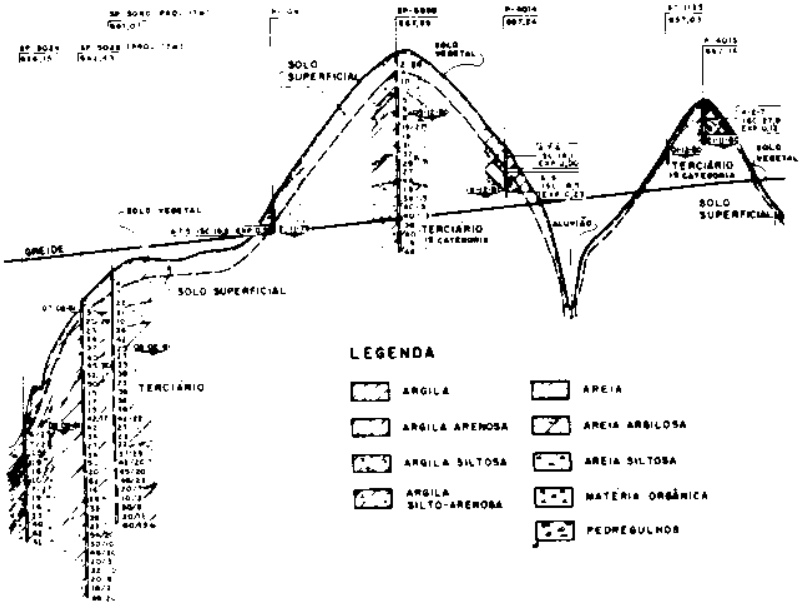
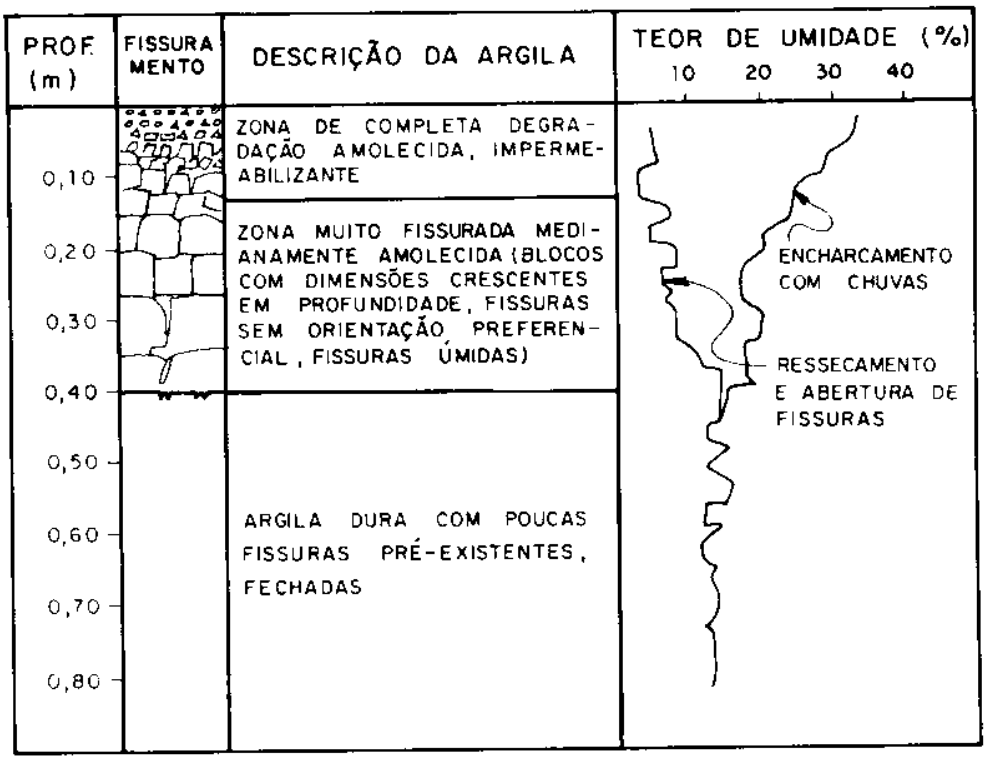


Fig.1 Seção Geológica pela Formação Terciária



Perfil Típico da Zona Degradada

Fig. 2 Degradação Superficial da Argila Dura Cinza Esverdeada

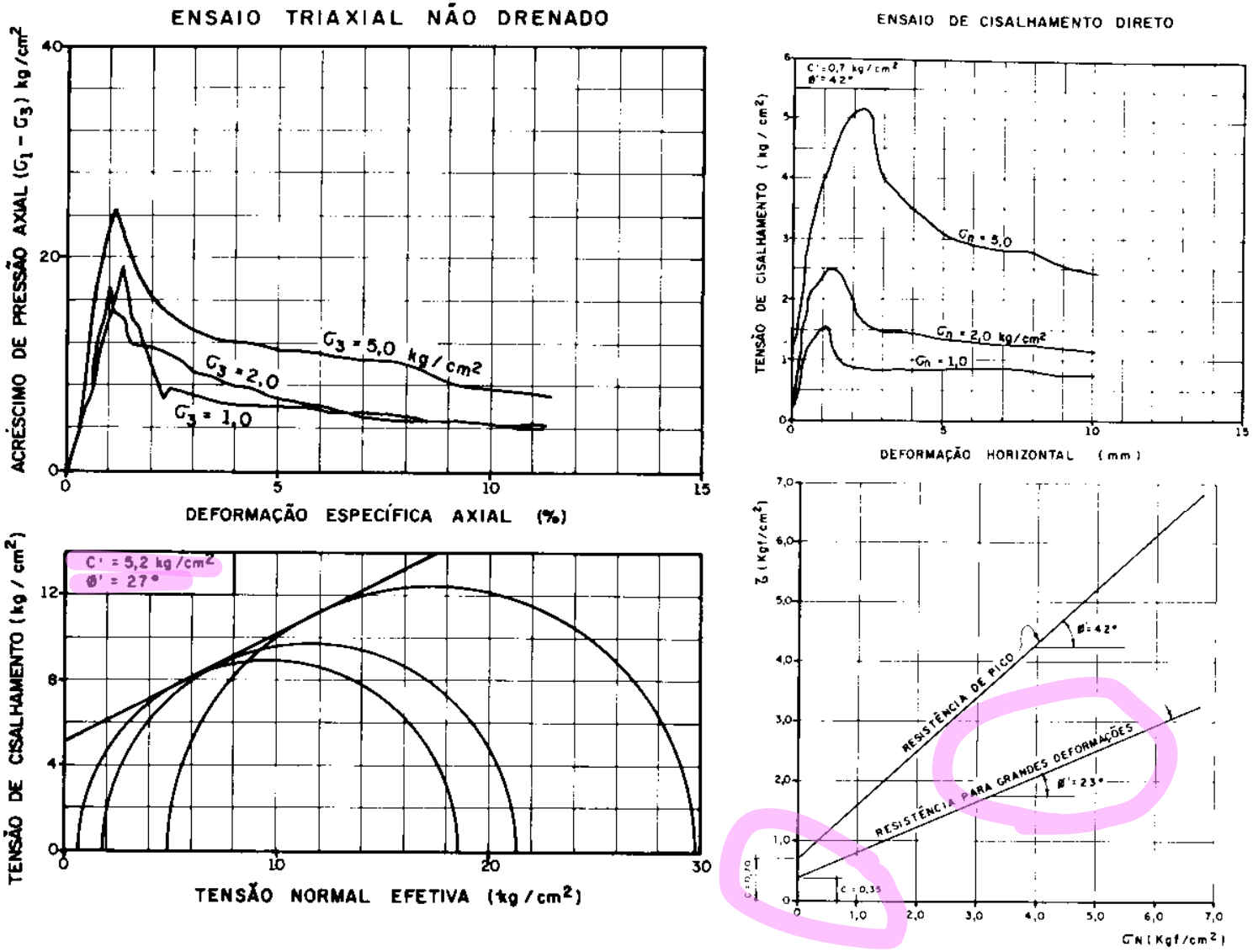


Fig. 3 Resistência ao Cisalhamento da Argila no Estado Natural

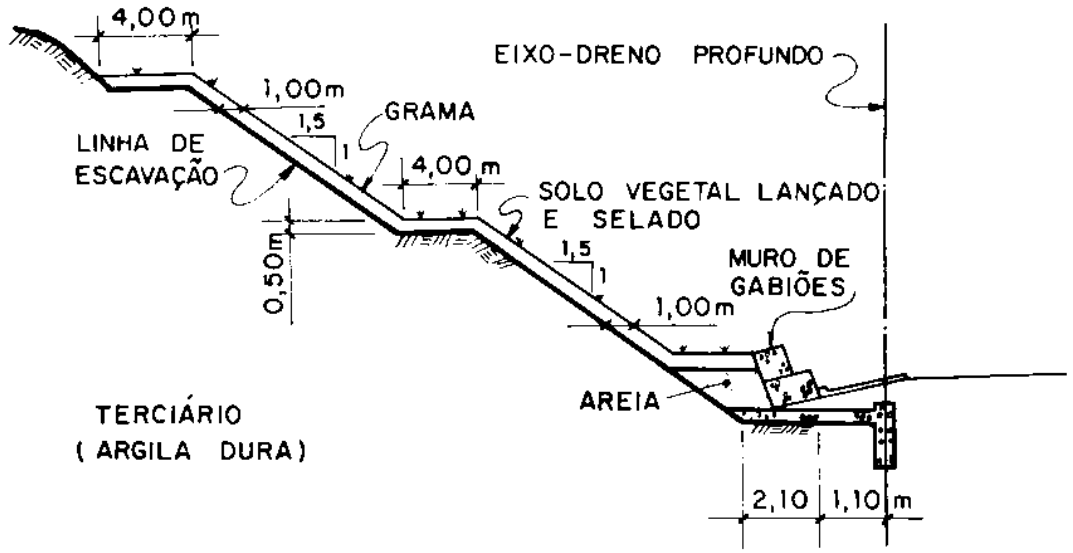


Fig. 4 Solução inicial de confinamento

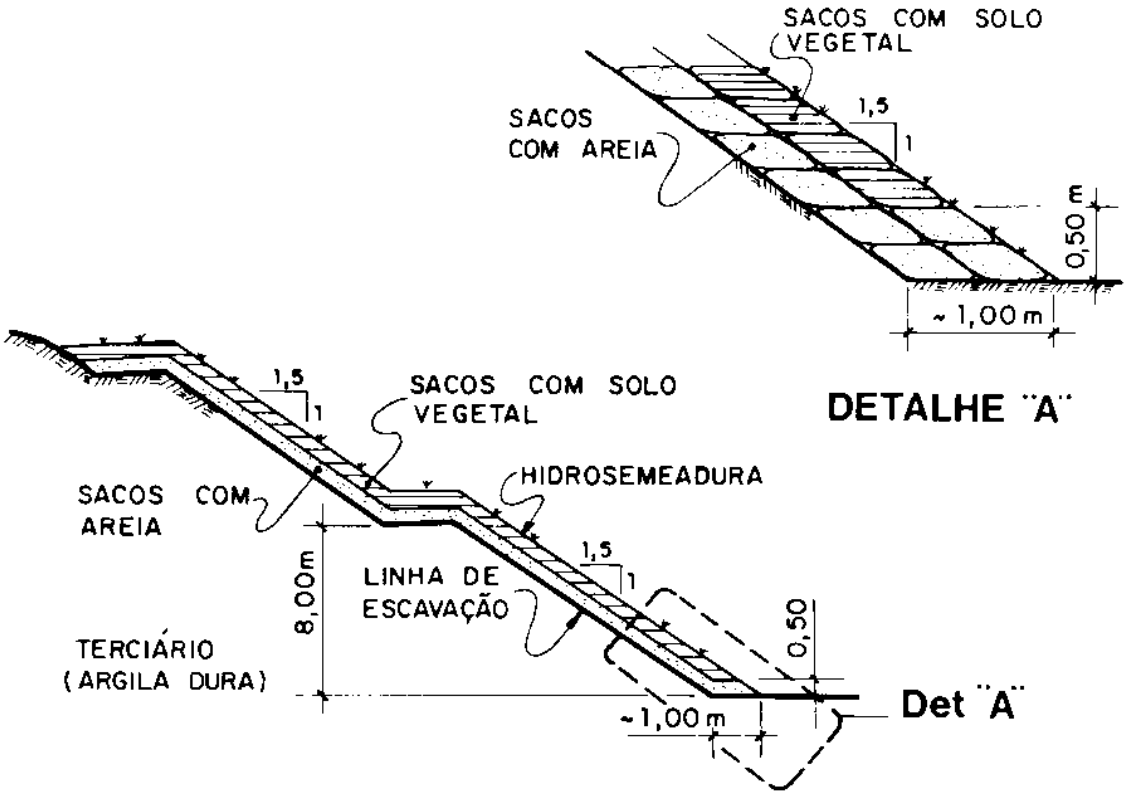
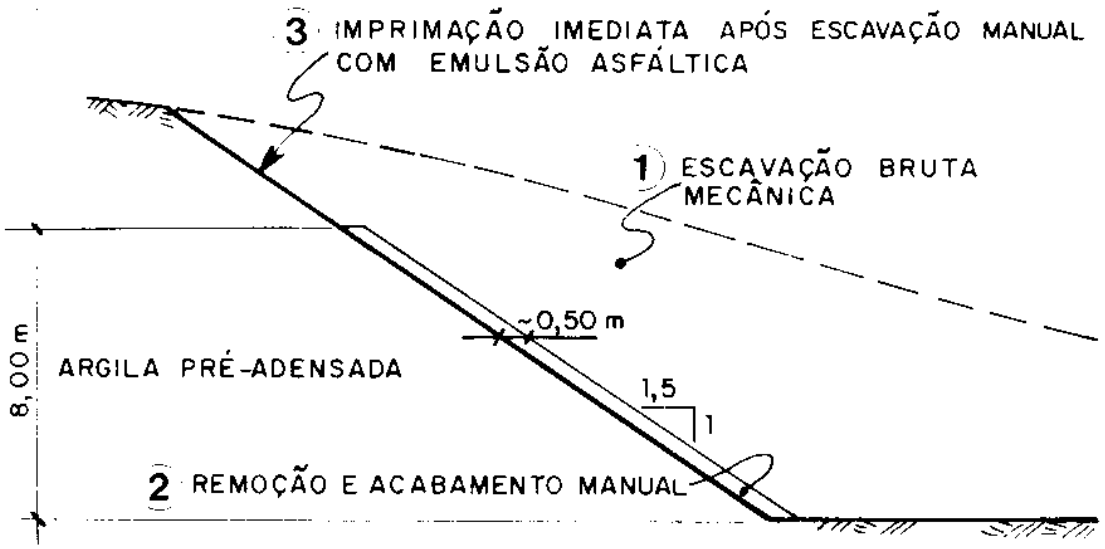
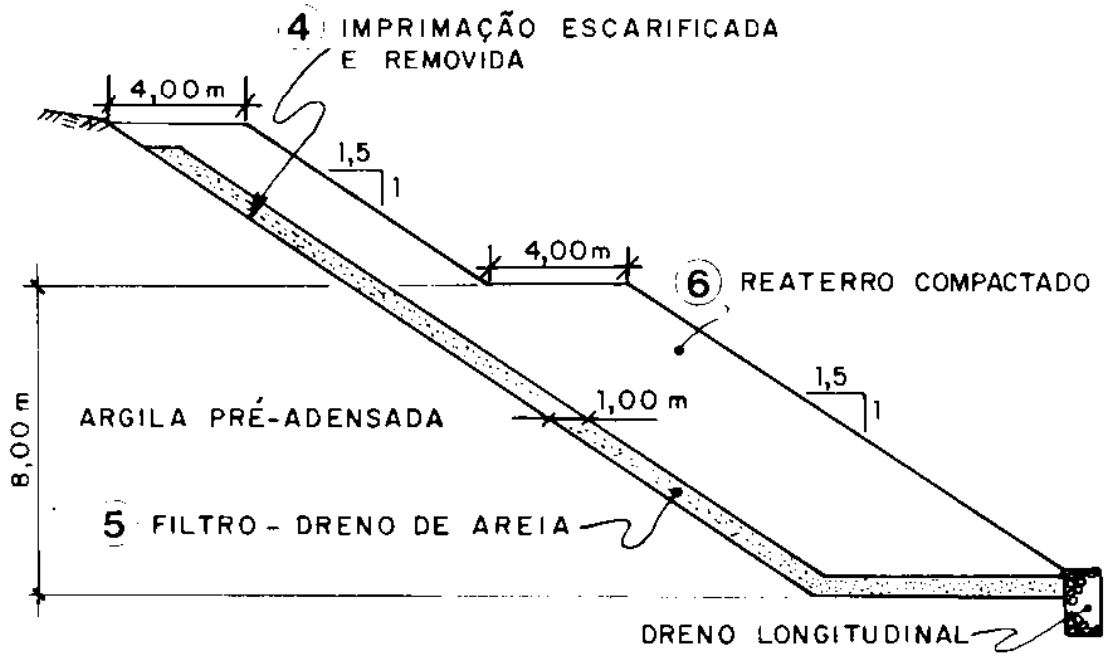


Fig. 5 Solução de confinamento com sacos



a) Proteção Provisória



b) Confinamento e Drenagem

Fig. 6 Solução Preconizada. Etapas de Execução

FOTOS 1 e 2
Vista da
desagregação
superficial
da argila
do Terciário

FOTO 3 Vista da experiência com sacos. A metade à direita não apresenta drenagem interna.

FOTO 4 Vista do talude imprimado com emulsão asfáltica